

# カギイバラノリ *Hypnea japonica* (スギノリ目, 紅藻) の生長におよぼす水温, 光, 窒素の種類および濃度の影響

誌名	水産増殖 = The aquiculture
ISSN	03714217
著者名	早川, 浩一 田中, 優平 駒澤, 一朗
発行元	水産増殖談話会
巻/号	61巻4号
掲載ページ	p. 377-382
発行年月	2013年12月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター  
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council  
Secretariat



## カギイバラノリ *Hypnea japonica* (スギノリ目, 紅藻) の生長におよぼす水温, 光, 窒素の種類および濃度の影響

早川浩一<sup>1</sup>・田中優平<sup>2</sup>・駒澤一朗<sup>1,\*</sup>

### Effects of Water Temperature, Irradiance, Nitrogen Form and Concentration on the Growth of *Hypnea japonica* Gigartinales, Rhodophyta

Kouichi HAYAKAWA<sup>1</sup>, Yuhei TANAKA<sup>2</sup> and Ichiro KOMAZAWA<sup>1,\*</sup>

**Abstract:** *Hypnea japonica* is an important material for local cuisine in Hachijo-jima Island. In this study, in order to clarify the physiological properties of *H. japonica* for establishment of commercial tank cultivation technology, effects of water temperature, irradiance, nitrogen form and concentration on growth were examined under indoor cultivation conditions. The optimal water temperature for growth ranged from 18 to 27°C (relative growth rate 8.6~11.5% day<sup>-1</sup>), and the optimal irradiance was more than 100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (relative growth rate 11.2~17.9% day<sup>-1</sup>). The optimal nitrogen form and its concentration was nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) and over 10 μM (7.9~10.2% day<sup>-1</sup>). In the case of outdoor tank cultivation of *H. japonica* with seawater pumped up from the sea around Hachijo-jima Island, environmental conditions of both seawater temperature and irradiance were in the optimal range for growth. However, the nitrogen concentration in natural seawater around the island is below 10 μM. So, it is possible that the nitrogen concentration is a limiting factor for growth. The results show that it was necessary to fertilize in this method.

**Key words:** *Hypnea japonica*; Seawater temperature; Irradiance; Nitrogen form and concentration

紅藻カギイバラノリ *Hypnea japonica* は、スギノリ目イバラノリ科に属する1年生海藻で、本州太平洋岸中・南部、四国、九州、南西諸島に至る海域に広く分布する(吉田 1998)。伊豆諸島八丈島では、郷土料理「ブド」の原料として漁獲されることから漁業権が設定され、重要な水産資源となっている。カギイバラノリは、八丈島では沿岸の潮下帯~水深 5 m 前後の岩礁帯に生育し、岩などの基質に付着するほか、主要藻場構成種であるタマシモク *Sargassum nipponicum* (高瀬・田中 2008) を中心とした海藻に絡みついて塊状となり、群生している。春~初夏の最も生長する時期に採集された藻体は、島内で湿重量 1 kg あたり

2,000円前後の高値で流通しており、島内需要は非常に大きい。しかし、天然藻体は繁茂時期が限られており、資源量の年変動も大きいことなどから(田中ら 2011)、安定供給を望む声大きい。また、カギイバラノリは、同島の重要な水産資源であるフクトコブシ *Sulculus diversicolor diversicolor* に対する餌料価値が高いと報告されており(米山・木本 1998)、貝類など磯根資源の餌料海藻としても重要である。そのため、著者らは、八丈島沿岸におけるカギイバラノリの生態について、その一部を明らかにしてきた(田中ら 2011)。カギイバラノリの天然海域における資源量変動要因の一つとして、その生長には、冬季の黒潮蛇行に伴う

2013年1月30日受付; 2013年10月18日受理.

<sup>1</sup> 東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所 (Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Islands Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, Hachijo-machi, Tokyo 100-1511, Japan).

<sup>2</sup> 東京都小笠原水産センター (Tokyo Metropolitan Ogasawara Fisheries Research Center, Ogasawara-mura, Tokyo 100-2101, Japan).

\*連絡先 (Corresponding author): E-mail, Ichiro\_Komazawa@member.metro.tokyo.jp (I. Komazawa).

沿岸への栄養塩の供給が重要であることが分かっている(田中ら 2011)。八丈島は黒潮流路の変動により沿岸環境が大きく変化するが、近年、同島周辺では、高水温・貧栄養の海況が継続し、カギイバラノリと同様に島の重要水産資源であるマクサ *Gelidium elegans* についても、貧栄養が主要因と思われる不漁が続いている(駒澤ら 2012)。しかし、沿岸環境に強く依存する海藻資源にとって、現在のところ海況の改善による資源の増大が期待できる状況にはなく、安定した資源量を維持するためには何らかの人為的な増殖手段を講じる必要がある。このため、東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所(以下、八丈事業所)では、カギイバラノリ安定供給のための一手段として、屋外陸上水槽を用いた養殖技術の開発に取り組んでいる。

これまで、近縁種の紅藻イバラノリ *Hypnea charoides* においては、増養殖を目的とした発生過程の解明や養殖実験が行われているが(当真・本村 1983, 1984a, 1984b)、カギイバラノリにおける増養殖のための研究は前例がないと思われる。養殖技術の開発を効率的に進めるためには、対象藻類の生理・生態学的特性、特にその生長におよぼす適正環境条件の把握が必要である。そこで今回は、陸上水槽におけるカギイバラノリ養殖技術開発を主目的として、室内において培養実験を行い、藻体の生長におよぼす水温、光、栄養塩の種類および濃度について検討を行ったので報告する。

### 材料および方法

本研究では、カギイバラノリの生長に適した諸条件を明らかにするために、各段階の水温および光強度について実験を行った。また、栄養塩としては窒素化合物を用い、その種類および濃度に関する実験を行った。

水温実験、光強度実験および窒素化合物種別実験に用いたカギイバラノリの由来を以下に記した。八丈島三根地区底土でスキューバ潜水により、タマナシモクに絡み付いているカギイバラノリをタマナシモクの付着器ごと採集した。水温実験および窒素化合物種別実験に用いたカギイバラノリは2008年9月2日に採集した。光強度実験には2010年5月26日に採集した藻体を用いた。採集したカギイバラノリおよびタマナシモクは八丈事業所に持ち帰り、カギイバラノリとタマナシモクを手作業により分離した後、屋外水槽中で砂ろ過海水を掛け流して培養を行い、後の実験に用いた。窒素化合物濃度実験に用いたカギイバラノリは、2010年6月24日に八丈島末吉地区洞輪沢でスキューバ潜水により母藻を採集し、母藻に形成された四分孢子囊から放出された孢子を実験室内で培養して得た藻体を用いた。

いずれの実験においても、温度勾配培養装置(Morita et al. 2003a, 2003b; 駒澤・坂西 2009)を使用し、カギイバラノリ約0.3 g(湿重量)を500 ml 枝付き丸型フラスコに入れ、各小型恒温水槽の中に設置した。実験中はフラスコの下部にある穴の開いた枝部分から微弱な通気(80 ml min<sup>-1</sup>)を施し、常にフラスコ内のカギイバラノリがフラスコ壁面に沿って緩く回転するようにした。培養海水は、砂ろ過海水をフィルター(Whatman GF/F, 孔径0.7 μm)で吸引ろ過後、オートクレーブで滅菌(121°Cで20分間)した海水(以下、滅菌海水)を使用した。この滅菌海水を上記のフラスコに500 ml 入れ、二酸化ゲルマニウムを2 mg l<sup>-1</sup>の濃度で添加した。実験は開始日を0日目として7日目まで行った。いずれの実験も、同様に3回繰り返した。なお、実験開始時および終了時に、藻体表面の水分を紙製ワイパーにより十分拭き取った後に藻体の湿重量を測定し、次式により相対生長速度を算出した。

$$\text{相対生長速度 (\% day}^{-1}\text{)} = [\ln(W_t) - \ln(W_0)] \times 100/t$$

ただし、 $W_t$ : 実験終了時の湿重量(g)、 $W_0$ : 実験開始時の湿重量(g)、 $t$ : 実験日数、すなわち7である。

水温、光強度、窒素化合物の種類および濃度と相対生長速度との関係は、ANOVAで分散分析を行い、post-hoc testとしてTukey-Kramer法を用いてそれぞれの比較を行った。

### 水温実験

水温実験では、光強度を100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>(12L:12D)に固定し、水温を12, 15, 18, 21, 24, 27, 30, 33°Cの8段階に設定して実験を行った。培地には20% PESI(西澤・千原 1979)を用い、毎日全量を交換した。実験は、2009年4月21日から28日にかけてと同年5月27日から6月3日にかけて行った。水温と相対生長速度との関係は二次関数に近似させた。

### 光強度実験

光強度実験では、水温を21°Cに固定し、光強度を15, 50, 100, 150, 200, 250, 300 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>(12L:12D)の7段階に設定して実験を行った。培地は水温実験と同様とし、1日おきに全量を交換した。実験は、2010年6月4日から11日にかけてと同年6月22日から6月29日にかけて行った。光強度と相対生長速度との関係はMonodの式に近似させた(Monod 1942)。最大生長速度  $V_{max}$  と半飽和定数  $K_s$  は Hanes-Woolf プロットにより算出した(Ichiki et al. 2000)。

### 窒素化合物種別実験

窒素化合物種別実験では、窒素源として硝酸態窒

素およびアンモニア態窒素を用いた。滅菌海水に、20%PESIと同濃度のリン酸態リン ( $9\mu\text{M}$ ) を加え、硝酸態窒素を  $1\text{l}$  あたり  $164\mu\text{M}$  添加した区 (硝酸態窒素区)、アンモニア態窒素を  $1\text{l}$  あたり  $164\mu\text{M}$  添加した区 (アンモニア態窒素区)、および窒素源非添加区 (対照区) の3区で実験を行った。なお、水温は  $21^\circ\text{C}$ 、光強度は  $100\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  (12L:12D) とし、培地は1日おきに全量を交換した。また、窒素源を加える前の海水中の硝酸態窒素の濃度は  $1.1\mu\text{M}$ 、アンモニア態窒素の濃度は  $1.2\mu\text{M}$ 、およびリン酸態リンの濃度は  $0.2\mu\text{M}$  であった。実験は、2009年6月26日から7月3日にかけて行った。

#### 窒素化合物濃度実験

窒素化合物濃度実験では、窒素源として硝酸態窒素を用いた。滅菌海水に、20%PESIと同濃度のリン酸態リン ( $9\mu\text{M}$ ) を加え、硝酸態窒素を  $1\text{l}$  あたり  $0, 5, 10, 25, 50, 100, 150, 200, 400\mu\text{M}$  加えた9段階の濃度で実験を行った。なお、水温は  $21^\circ\text{C}$ 、光強度は  $100\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  (12L:12D) とし、培地は毎日全量を交換した。また、窒素源を加える前の海水中の硝酸態窒素の濃度は  $0.6\sim 2.1\mu\text{M}$ 、アンモニア態窒素の濃度は  $0\sim 0.5\mu\text{M}$ 、およびリン酸態リンの濃度は  $0.2\sim 0.3\mu\text{M}$  であった。実験は、2011年2月25日から3月4日、同年3月9日から3月16日にかけてと2013年6月28日から7月5日にかけて行った。硝酸態窒素の濃度と相対生長速度との関係は、光強度実験と同様に Monod の式に近似させた。

## 結 果

#### 水温実験

カギイバラノリの相対生長速度と水温の関係を Fig. 1 に示す。  $12^\circ\text{C}$  における相対生長速度は  $0.9\% \text{ day}^{-1}$  であったが、  $15^\circ\text{C}$  では  $6.0\% \text{ day}^{-1}$  と6倍以上に達した ( $P < 0.05$ )。また、  $18\sim 24^\circ\text{C}$  の相対生長速度に有意差は認められず、  $27^\circ\text{C}$  の相対生長速度は  $11.5\% \text{ day}^{-1}$  で他の実験区より有意に高い値を示した ( $P < 0.05$ )。一方、  $30^\circ\text{C}$  における相対生長速度は  $5.1\% \text{ day}^{-1}$  であり、  $18^\circ\text{C}\sim 27^\circ\text{C}$  の約半分の値であった ( $P < 0.05$ )。また、  $33^\circ\text{C}$  では実験終了時まですべての藻体が枯死した。

カギイバラノリの相対生長速度  $V_T\% \text{ day}^{-1}$  と水温  $T^\circ\text{C}$  の関係は下式のようにになった (Fig. 1)。

$$V_T = -0.093T^2 + 4.15T - 35.57 \quad (r^2 = 0.910)$$

#### 光強度実験

カギイバラノリの相対生長速度と光強度の関係を Fig. 2 に示す。相対生長速度は、  $15\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$

$\text{s}^{-1}$  で  $2.9\% \text{ day}^{-1}$  であったが、  $50\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  では  $6.4\% \text{ day}^{-1}$  であった。また、  $100\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  以上の光強度における相対生長速度は、  $50\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  以下のそれより有意に大きく ( $P < 0.05$ )、  $100\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  区と  $150\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  区、  $150, 200$  および  $300\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  区、  $200, 250, 300\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  区の間で有意差は認められなかった ( $P > 0.05$ )。さらに、  $100\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  以上の光強度下における相対生長速度は高い値 ( $11.2\sim 17.9\% \text{ day}^{-1}$ ) を示し、この光強度の

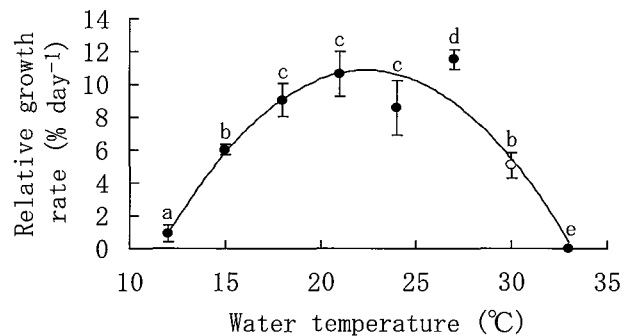


Fig. 1. Relative growth rates of *Hypnea japonica* in the range from  $12$  to  $33^\circ\text{C}$ . The culture experiments were carried out under a light intensity of  $100\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$  and 20% PESI medium for 8 days. Vertical bars indicate the standard deviations of three replicates. Upper survival temperature is represented as an open circle. The samples of  $33^\circ\text{C}$  died during the 8 day culture experiments. Treatments with different letters indicate significant differences according to the one-way ANOVA, and Tukey-Kramer multiple comparison test ( $P < 0.05$ ).

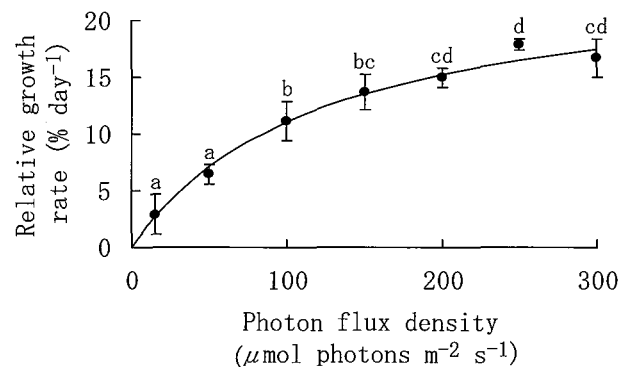


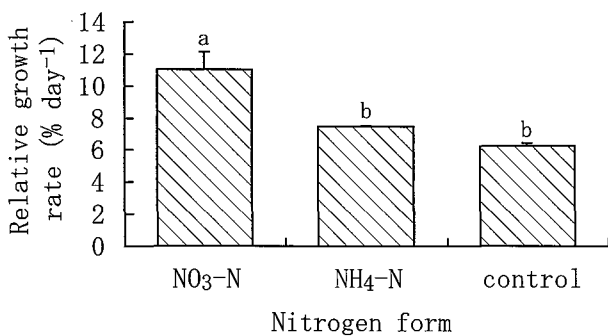
Fig. 2. Relative growth rates of *Hypnea japonica* in the range from  $15$  to  $300\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{ s}^{-1}$ , saturation curve of the data according to Monod's plot. The culture experiments were carried out under the water temperature of  $21^\circ\text{C}$  and 20% PESI medium for 8 days. Vertical bars indicate the standard deviations of three replicates. Treatments with different letters indicate significant differences according to the one-way ANOVA, and Tukey-Kramer multiple comparison test ( $P < 0.05$ ). The correlation coefficient ( $r^2$ ) of a linear regression of Hanes-Woolf plot was 0.975.

範囲内では、最も相対生長速度が大きかった250  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ のそれ (17.9%  $\text{day}^{-1}$ ) に対して、60%以上の相対生長速度を示した。

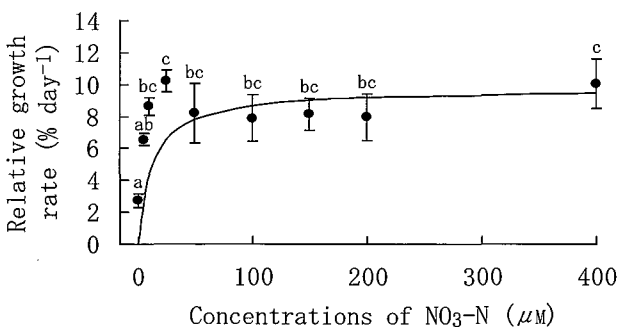
光強度と相対生長速度との関係を Monod の式に近似させた結果、最大生長速度  $V_{max}$  は24.6%  $\text{day}^{-1}$ 、半飽和定数  $K_s$  は122.3  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ と算出された (Fig. 2)。

#### 窒素化合物種別実験

カギイバラノリの相対生長速度と窒素化合物の種類との関係を Fig. 3 に示す。相対生長速度は、硝酸態窒素区で11.0%  $\text{day}^{-1}$ 、アンモニア態窒素区で7.5%  $\text{day}^{-1}$ 、



**Fig. 3.** Relative growth rates of *Hypnea japonica* under the different nitrogen forms. The culture experiments were carried out under the water temperature of 21°C, light intensity of 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  and nitrogen concentration of 164  $\mu\text{M}$  for 8 days. Vertical bars indicate the standard deviations of three replicates. Treatments with different letters indicate significant differences according to the one-way ANOVA, and Tukey-Kramer multiple comparison test ( $P < 0.05$ ).



**Fig. 4.** Relative growth rates of *Hypnea japonica* under the different nitrate concentrations, saturation curve of the data according to Monod's plot. The culture experiments were carried out under the water temperature of 21°C and light intensity of 100  $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  for 8 days. Vertical bars indicate the standard deviations of three replicates. Treatments with different letters indicate significant differences according to the one-way ANOVA, and Tukey-Kramer multiple comparison test ( $P < 0.05$ ). The correlation coefficient ( $r^2$ ) of a linear regression of Hanes-Woolf plot was 0.980.

および対照区で6.2%  $\text{day}^{-1}$ となり、硝酸態窒素区の値は他の2区より有意に高かった ( $P < 0.05$ )。一方、アンモニア態窒素区と対照区の間には有意差は認められなかった ( $P > 0.05$ )。

#### 窒素化合物濃度実験

カギイバラノリの相対生長速度と硝酸態窒素濃度の関係を Fig. 4 に示す。相対生長速度は10~400  $\mu\text{M}$ 添加区で高い値を示し (7.9~10.2%  $\text{day}^{-1}$ )、この濃度範囲内では各濃度間に有意差は認められなかった ( $P > 0.05$ )。一方、0  $\mu\text{M}$ 添加区の相対生長速度は10~400  $\mu\text{M}$ 添加区のそれより有意に小さかった ( $P < 0.05$ )。

硝酸態窒素濃度と相対生長速度との関係を Monod の式に近似させた結果、最大生長速度  $V_{max}$  は9.8%  $\text{day}^{-1}$ 、半飽和定数  $K_s$  は12.5  $\mu\text{M}$ と算出された (Fig. 4)。

#### 考 察

カギイバラノリの生長最適水温は18~27°Cの範囲内にあると思われた。八丈島沿岸の海水温 (1981~2010年の月平均値) は18.0 (2月)~26.6°C (9月)の間で変動するが (駒澤ら 2012)、天然海水をポンプアップしての陸上水槽における養殖を想定した場合、同島の水温は本実験で得られた生長最適水温の範囲内であった。また、田中ら (2011) は、八丈島沿岸の天然海域に生育するカギイバラノリの生長最適水温は15~25°Cと報告している。今回の実験では、15°Cにおける相対生長速度は18~27°Cのそれと比べて低かったが、田中ら (2011) が報告した天然海域における生長最適水温と概ね一致した。寺田・能登谷 (2001) は、日本産オゴノリ科藻類の培養実験下で得られた生長最適水温が、それら藻類の天然海域における繁茂時期の水温と一致するとしており、カギイバラノリについても同様の現象が認められた。

カギイバラノリの相対生長速度は、30°Cで上記の生長最適水温よりも低下し、33°Cで藻体が枯死したことから、生育上限水温は31~33°Cの間にあると思われた。八丈島沿岸では、7月から8月の夏季にカギイバラノリが成熟した後、急激に枯死・流失することが確認されている (田中ら 2011)。同島における7月および8月の月平均水温はそれぞれ24.6°Cおよび26.5°Cであり (駒澤ら 2012)、1981年から2010年までの30年間の日最高水温についても29.8°C (2010年8月31日)と、月平均水温および日最高水温ともに30°Cを越えることはない。今回、培養実験下で得られた生育上限水温と天然海域での枯死・流失期の水温に差が認められた。このことは、天然海域における夏季の枯死・流失の要因が生理的な生育上限水温以外の要因に影響されている

可能性を示唆している。田中ら (2011) は、八丈島においてカギイバラノリの四分孢子嚢形成藻体が確認された時期の水温を24~26℃と報告しており、天然海域における同種の枯死・流失に成熟が影響している可能性は高いと思われる。今回、8日間の実験期間中に肉眼による藻体の成熟は確認できなかったが、今後は、カギイバラノリの成熟と水温の関係を明らかにするために、より長期間の実験を行う必要がある。

光強度実験において、カギイバラノリの半飽和定数  $K_s$  は  $122.3 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  と算出され、相対生長速度は約  $250 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  の光強度で飽和に達すると思われた。また、 $100 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上の光強度で相対生長速度の最大値に対して60%以上の値を示した。したがって、カギイバラノリの生長に適した光強度は  $100 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上であると推定された。八丈島における地上の日積算光量子量の月平均値は、1月に  $13.0 \text{ mol photons m}^{-2} \text{ day}^{-1}$  で最低値となる (駒澤 2012)。しかし、この月においても10分ごとに実測した光量子束密度は7時30分~16時までの8時間30分の間、 $100 \mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  以上であった。カギイバラノリは水深1 m以浅の浅所に生育している。八丈島沿岸でカギイバラノリの陸上水槽による養殖を想定した場合、海面による光の反射や水深による光の減衰を考慮しても、光強度については周年その生長に十分な光量を得られるものと考えられた。

栄養塩となる窒素化合物種別実験の結果から、カギイバラノリの生長には硝酸態窒素が有効であることが明らかとなった。オゴノリ属やスギノリ属では、硝酸態窒素よりアンモニア態窒素の方が良好な生長を示す種が報告されているが (Smit et al. 1997; Buschmann et al. 2004; Carton et al. 2010)、カギイバラノリは硝酸態窒素の方が良い生長を示した。Haines and Wheeler (1978) はイバラノリ属の1種 *Hypnea musciformis* について、硝酸態窒素とアンモニア態窒素が同時に存在した場合、双方を同時に吸収することができ、アンモニア態窒素の方が速やかに吸収されることを報告している。今回、カギイバラノリについて両窒素態を個別に添加した場合、硝酸態窒素の方が良好な生長を示したが、硝酸態およびアンモニア態窒素が同時に存在した場合にはどのような生長を示すのか、明らかにしていく必要がある。

窒素化合物濃度実験において、カギイバラノリの半飽和定数  $K_s$  は  $12.5 \mu\text{M}$  と算出され、相対生長速度は  $25 \mu\text{M}$  で飽和に達すると思われた。また、 $10 \mu\text{M}$  以上の硝酸態窒素濃度で良好な生長を示し、この濃度の範囲では相対生長速度はほぼ一定であった。Martins et al. (2011) は、硝酸態窒素が  $100 \mu\text{M}$  濃度下における *H. musciformis* の生長速度を  $5\sim 6\% \text{ day}^{-1}$  と報告してい

る。また、Ribeiro et al. (2012) は、硝酸態窒素濃度  $100\sim 500 \mu\text{M}$  における *Hypnea cervicornis* の生長速度を  $11.5\sim 14.5\% \text{ day}^{-1}$  と報告しており、本研究で得られた  $10\sim 400 \mu\text{M}$  濃度下における生長速度はこれらと同程度の値であった。

すでに述べたように、近年の八丈島沿岸の海洋環境は高水温・貧栄養の海況が継続し、硝酸態窒素濃度は  $10 \mu\text{M}$  を上回ることはない (田中ら 2011; 駒澤ら 2012)。このような海況下で、八丈島沿岸の海水をポンプアップして陸上水槽による養殖を行う場合、低い窒素濃度がカギイバラノリの生長の律速要因となる可能性がある。また、本実験において、窒素濃度が  $100 \mu\text{M}$  以上の実験区のN:P比は10:1より大きくなった。このことから、 $100 \mu\text{M}$  以上の実験区においては、リンがカギイバラノリの生長の律速要因となっている可能性がある。今後、リンの濃度の変化とカギイバラノリの生長との関係や、異なるN:P比が同種の生長に与える影響を調べ、窒素とリン双方が同種の生長に与える影響を明らかにしていく必要がある。

採算性が求められる養殖業を行うにあたっては、低コスト・高生産といった効率のよい事業を展開する必要がある。そのため、対象とする海藻の生長条件を明らかにし、コストをかけずにその生長適正条件の範囲内に環境を維持することは最も重要である。本研究の結果、八丈島において天然海水をポンプアップして陸上水槽による養殖を行う場合、水温および光強度はカギイバラノリの生長至適範囲内にあるが、栄養塩としての硝酸態窒素濃度は、その生長を制限する可能性が高く、施肥を行う必要があることが明らかとなった。早川 (2011) は、園芸用の遅効性化学合成肥料を加えることにより、天然海水のかけ流し培養下においても、硝酸態窒素濃度が原海水と比べて3倍程度上昇したことを報告している。今後は、陸上水槽による養殖下でよりコストを抑えるための適正な施肥量を明らかにしていくとともに、生産性を上げるための養殖手法 (例えば「人工種苗生産技術の確立」など) の検討等も行っていく必要がある。また、施肥を行いながらかけ流し養殖を行う上で、排水中の残留栄養塩が周囲の海洋環境へ与える影響を最小限に留める必要がある。今後は、カギイバラノリの栄養塩吸収速度についても明らかにし、効率的に良好な生長を維持しつつ周囲の環境にも影響を与えないような養殖方法を目指す必要がある。

## 要 約

カギイバラノリの陸上水槽による養殖技術開発のための基礎的な生理的特性を把握することを目的に、

室内において培養実験を行い藻体の生長におよぼす水温, 光, 栄養塩の種類および濃度について検討を行った。その結果, 水温は18~27°Cの範囲(相対生長速度8.6~11.5% day<sup>-1</sup>), 光強度は100 μmol photons m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>以上(相対生長速度11.2~17.9% day<sup>-1</sup>)で良好な生長を示した。また, 窒素源としては硝酸態窒素が適し, 10 μM以上添加することで良好な生長(7.9~10.2% day<sup>-1</sup>)を示した。この結果から, 八丈島において天然海水をポンプアップして, 屋外で陸上水槽による養殖を行う場合, 水温および光強度はカギイバラノリの生長至適範囲の中にあるものの, 栄養塩としての硝酸態窒素濃度は, その生長を制限する可能性が高く, 施肥の必要性が明らかとなった。

## 謝 辞

本論文を校閲していただいた元東京都島しょ農林水産総合センターの加藤憲司氏に深く感謝する。首都大学東京理工学研究科の黒川 信准教授には英文要約および図の説明の校閲を賜った。また, 東京都小笠原水産センターの川辺勝俊博士には本稿をまとめるにあたり有益なご助言をいただいた。厚くお礼申し上げる。

## 文 献

- Buschmann, A. H., D. Varela, M. Cifuentes, M. C. Hernández-González, L. Henríquez, R. Westermeier and A. Correa (2004) Experimental indoor cultivation of the carrageenophytic red alga *Gigartina skottsbergii*. *Aquaculture*, **241**, 357-370.
- Carton, R. J., Y. Okuyama, H. Kimura, D. Fujita and M. Notoya (2010) Nutrient uptake and reduction efficiency by the red alga *Gracilaria bursa-pastoris* (S Gmelin) Silva integrated with the red sea bream, *Pagrus major*. *Algal Res.*, **3**, 99-110.
- Haines, K. C. and P. A. Wheeler (1978) Ammonium and nitrate uptake by the marine macrophytes *Hypnea musciformis* (Rhodophyta) and *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta). *J. Phycol.*, **14**, 319-324.
- 早川浩一 (2011) カギイバラノリ野外タンク培養試験. 平成22年度東京都島しょ農林水産総合センター事業報告, 31.
- Ichiki, S., H. Mizuta and H. Yamamoto (2000) Effects of irradiance, water temperature and nutrients on the growth of sporelings of the crustose coralline alga *Lithophyllum yesoense* Foslie (Corallinales, Rhodophyceae). *Phycol. Res.*, **48**, 115-120.
- 駒澤一朗 (2012) 八丈島における光強度の季節変化. 東京都島しょ農林水産総合センター平成22年事業成果速報, 117.
- 駒澤一朗・坂西芳彦 (2009) 暖海性コンブ目アントクメ配偶体の生長と成熟におよぼす温度の影響. *藻類*, **57**, 129-133.
- 駒澤一朗・高瀬智洋・田中優平・早川浩一 (2012) 八丈島沿岸におけるマクサの生長と成熟におよぼす黒潮流路変動の影響. *水産増殖*, **60**, 169-177.
- Martins, A. P., O. N. Junior, P. Colepicolo and N. S. Yokoya (2011) Effects of nitrate and phosphate availabilities on growth, photosynthesis and pigment and protein contents in colour strains of *Hypnea musciformis* (Wulfen in Jacqu.) J. V. Lamour. (Gigartinales, Rhodophyta). *Braz. J. Pharmacogn.*, **21**, 340-348.
- Monod, J. (1942) *Research on the Growth of Bacterial Cultures*. Hermann, Paris, 211 pp.
- Morita, T., A. Kurashima and M. Maegawa (2003a) Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyta). *Phycol. Res.*, **51**, 154-160.
- Morita, T., A. Kurashima and M. Maegawa (2003b) Temperature requirements for the growth of young sporophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyta). *Phycol. Res.*, **51**, 266-270.
- 西澤一俊・千原光雄 (1979) 藻類研究法. 共立出版, 東京, 754 pp.
- Ribeiro, A. L. N. L., K. E. Tesima, J. M. C. Souza and N. S. Yokoya (2012) Effects of nitrogen and phosphorus availabilities on growth, pigment, and protein contents in *Hypnea cervicornis* J. Agardh (Gigartinales, Rhodophyta). *J. Appl. Phycol.*, **25**, 1151-1157.
- Smit, A. J., B. L. Robertson and D. R. de Preez (1997) Influence of ammonium-N pulse concentration and frequency, tank condition and nitrogen starvation on growth rate and biochemical composition of *Gracilaria gracilis*. *J. Appl. Phycol.*, **8**, 473-481.
- 高瀬智洋・田中優平 (2008) 八丈島におけるタマナシモクの生長, 成熟と海況について. *水産増殖*, **56**, 369-374.
- 田中優平・高瀬智洋・駒澤一朗 (2011) 八丈島沿岸におけるカギイバラノリ *Hypnea japonica* (スギノリ目, 紅藻)の季節的消長と成熟. *水産増殖*, **59**, 593-598.
- 寺田竜太・能登谷正浩 (2001) 生活史と生長特性. 水産学シリーズ129 オゴノリの利用と展望 (寺田竜太・能登谷正浩・大野正夫編), 恒星社厚生閣, 東京, pp. 25-36.
- 当真 武・本村浩司 (1983) イバラノリ (*Hypnea charoides* LAMOUROX) の果胞子発生. *沖縄生物学会誌*, **21**, 53-55.
- 当真 武・本村浩司 (1984a) イバラノリ (*Hypnea charoides* LAMOUROX) の四分胞子発生と栄養体生殖. *沖縄生物学会誌*, **22**, 95-101.
- 当真 武・本村浩司 (1984b) 紅藻イバラノリの増養殖試験. 昭和57年度沖縄水試事業報告, 174-178.
- 米山純夫・木本 巧 (1998) フクトコブシ稚貝の成長に餌料と飼育籠設置方式が与える影響. *東京水試研報*, **210**, 1-7.
- 吉田忠生 (1998) 新日本海藻誌. 内田老鶴圃, 東京, 742 pp.